



MICROFICHE N°

06065

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 1

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DES SOLS

Laboratoire de Télédétection

LA TUNISIE VUE DE L'ESPACE

Par : A. SOUSSI, Ingénieur Général Pédologue
A. HAMZA, Chef de Laboratoire Géomorphologie
M. ZAÏER, Ingénieur Principal en Télédétection



Juin 1984

DIRECTION DES SOLS

Le Directeur des Sols

A Monsieur Le Directeur du Centre National
de Documentation Agricole.

J'ai l'honneur de vous faire parvenir une mosaïque de la Tunisie au 1/500.000 accompagnée d'une notice, préparées par le Laboratoire de Télédétection de la Direction des Sols, en collaboration avec le Service Géologique des Etats Unis d'Amérique.

La mosaïque a été réalisée à partir de 17 images acquises à une altitude de 912 km, par le satellite américain LANDSAT 2 de Télédétection des ressources terrestres, de 1977 à 1979, au cours des mois de Mars, Avril et Mai. Les images brutes ont été préalablement améliorées, puis rassemblées et ajustées par des techniques informatiques avant d'être visualisées.

Il s'agit d'une représentation instantanée de l'espace tunisien en fausses couleurs; autrement dit, les éléments du milieu ne sont pas exprimés par leurs couleurs naturelles. C'est ainsi que la végétation apparaît dans différentes nuances de rouge; la couleur est d'autant plus vive que la végétation est verte et dense. Le sol, de comportement plus variable, s'exprime par des teintes jaunâtre, blanchâtre ou bleuâtre (sol humide en surface). L'eau, qui garde à peu près sa couleur naturelle, est traduite par un bleu clair (eau peu profonde) ou foncé (eau profonde).

La valeur essentielle de cette mosaïque réside dans le fait qu'elle présente, dans des dimensions convenables, une vue de tout le territoire tunisien; ce qui serait pratiquement irréalisable à partir de photographies aériennes. En outre, contrairement aux cartes topographiques, qui simplifient la réalité, elle offre une vue plus concrète et plus fidèle des différents milieux géographiques du pays. Par sa vision synoptique, elle permet de mieux saisir la réalité géographique globale de la Tunisie, et de ce fait développer des conceptions intégrées nécessaires pour toute étude efficace d'aménagement régional et national. On notera qu'à la lumière de cette vue globale, la mosaïque, en mettant en relief la continuité des grands traits géographiques, montre clairement que la notion du Magreb est réelle et concrète.

D'autre part, sur le plan cartographique, la mosaïque constituerait une importante source d'information pour diverses disciplines : elle pourrait contribuer à la réalisation et révision de cartes thématiques (topographiques, géologiques, pédologiques, géomorphologiques, d'occupation du sol...), ou à la confirmation de certains caractères ou détails de l'environnement géographique tunisien.

Ainsi la mosaïque constitue un important document de valeur, à la fois éducatif et opérationnel.

Nous espérons que cette mosaïque vous sera utile pour toutes les questions relatives à l'érosion tunisienne.

Le Directeur des Sols

A. SQUISSI



REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Agriculture

DIRECTION DES SOLS

Laboratoire de Télédétection

LA TUNISIE VUE DE L'ESPACE

Mosaïque Landsat fausses couleurs

Echelle : 1/500 000

Par

A. SOUISSI, Ingénieur Général Pédologue

A. HAMZA, Chef de Laboratoire Géomorphologue

M. ZAÏER, Ingénieur Principal en Télédétection

Juin 1984

R E S U M E

Les auteurs présentent la mosaïque numérique Landsat fausses couleurs de la Tunisie au 1/500.000, préparée par le laboratoire de télédétection de la Direction des Sols en collaboration avec le Service Géologique Américain.

La mosaïque a été réalisée à partir de 17 images Landsat 2 MSS, acquises de 1977 à 1979 au cours des mois de Février, Mars, Avril et Mai. D'abord, les images ont subi différentes opérations de corrections en vue de supprimer diverses dégradations. Elles ont été ensuite assemblées, radiométriquement et géométriquement ajustées afin d'obtenir trois mosaïques sous forme numérique des bandes 4,5 et 7 qui correspondent à la projection transversale universelle de Mercator. Finalement, les films en noir et blanc des trois mosaïques ont été combinés en une image fausses couleurs en utilisant les techniques de composition colorée.

Ainsi, après avoir rappelé la méthodologie de la réalisation, les auteurs montrent l'importance de ce document qui constitue une image «instantannée» de tout le territoire tunisien à partir de 912 km d'altitude; il s'agit d'un document brut aussi fidèle que possible aux détails du milieu géographique. Ils essaient ensuite de faire quelques interprétations multidisciplinaires concernant les milieux naturels et aménagés du territoire. Cependant, conscients de la richesse en informations de la mosaïque, les auteurs ont évité de l'accompagner d'une légende; ils l'ont voulue un document ouvert à toutes les interprétations possibles des composantes de l'environnement tunisien.

ABSTRACT

The authors present the digital false color mosaic of Tunisia at a scale of 1/500 000, produced by the remote sensing Laboratory of the Direction of soils in co-operation with the United States Geological Survey.

The mosaic was compiled from 17 Landsat 2 MSS images acquired From 1977 to 1979 in February, March, April, and May. At first, the images have undergone different corrections to remove various degradations, they were then registered to each other, and radiometrically and geometrically adjusted to produce mosaics of bands 4,5 and 7 that match the Universal Transverse Mercator map projection. Finally three black-and-white film separates were made for the mosaics, and combined into a false-color image using color compositing techniques.

Thus after presenting the various steps of the generation technique, the authors discuss the usefulness of this document which provides an «instantaneous» image of the whole tunisian territory acquired at a nominal 912 km altitude ; it is a raw document which faithfully reflects the details of the geographic environment. They try then to extract some multidisciplinary information on the natural and managed environments of the country. The authors, however, aware of the wealth in information of the mosaic, have avoided to provide any interpretation key. They wanted it to be a document open to all possible interpretations of the components of the tunisian environment.

1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110-111-112-113-114-115-116-117-118-119-120-121-122-123-124-125-126-127-128-129-130-131-132-133-134-135-136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156-157-158-159-160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170-171-172-173-174-175-176-177-178-179-180-181-182-183-184-185-186-187-188-189-190-191-192-193-194-195-196-197-198-199-200-201-202-203-204-205-206-207-208-209-210-211-212-213-214-215-216-217-218-219-220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250-251-252-253-254-255-256-257-258-259-260-261-262-263-264-265-266-267-268-269-270-271-272-273-274-275-276-277-278-279-280-281-282-283-284-285-286-287-288-289-290-291-292-293-294-295-296-297-298-299-300-301-302-303-304-305-306-307-308-309-310-311-312-313-314-315-316-317-318-319-320-321-322-323-324-325-326-327-328-329-330-331-332-333-334-335-336-337-338-339-340-341-342-343-344-345-346-347-348-349-350-351-352-353-354-355-356-357-358-359-360-361-362-363-364-365-366-367-368-369-370-371-372-373-374-375-376-377-378-379-380-381-382-383-384-385-386-387-388-389-390-391-392-393-394-395-396-397-398-399-400-401-402-403-404-405-406-407-408-409-410-411-412-413-414-415-416-417-418-419-420-421-422-423-424-425-426-427-428-429-430-431-432-433-434-435-436-437-438-439-440-441-442-443-444-445-446-447-448-449-450-451-452-453-454-455-456-457-458-459-460-461-462-463-464-465-466-467-468-469-470-471-472-473-474-475-476-477-478-479-480-481-482-483-484-485-486-487-488-489-490-491-492-493-494-495-496-497-498-499-500-501-502-503-504-505-506-507-508-509-510-511-512-513-514-515-516-517-518-519-520-521-522-523-524-525-526-527-528-529-530-531-532-533-534-535-536-537-538-539-540-541-542-543-544-545-546-547-548-549-550-551-552-553-554-555-556-557-558-559-560-561-562-563-564-565-566-567-568-569-570-571-572-573-574-575-576-577-578-579-580-581-582-583-584-585-586-587-588-589-590-591-592-593-594-595-596-597-598-599-600-601-602-603-604-605-606-607-608-609-610-611-612-613-614-615-616-617-618-619-620-621-622-623-624-625-626-627-628-629-630-631-632-633-634-635-636-637-638-639-640-641-642-643-644-645-646-647-648-649-650-651-652-653-654-655-656-657-658-659-660-661-662-663-664-665-666-667-668-669-670-671-672-673-674-675-676-677-678-679-680-681-682-683-684-685-686-687-688-689-690-691-692-693-694-695-696-697-698-699-700-701-702-703-704-705-706-707-708-709-710-711-712-713-714-715-716-717-718-719-720-721-722-723-724-725-726-727-728-729-730-731-732-733-734-735-736-737-738-739-740-741-742-743-744-745-746-747-748-749-750-751-752-753-754-755-756-757-758-759-760-761-762-763-764-765-766-767-768-769-770-771-772-773-774-775-776-777-778-779-780-781-782-783-784-785-786-787-788-789-790-791-792-793-794-795-796-797-798-799-800-801-802-803-804-805-806-807-808-809-810-811-812-813-814-815-816-817-818-819-820-821-822-823-824-825-826-827-828-829-830-831-832-833-834-835-836-837-838-839-840-841-842-843-844-845-846-847-848-849-850-851-852-853-854-855-856-857-858-859-860-861-862-863-864-865-866-867-868-869-870-871-872-873-874-875-876-877-878-879-880-881-882-883-884-885-886-887-888-889-890-891-892-893-894-895-896-897-898-899-900-901-902-903-904-905-906-907-908-909-910-911-912-913-914-915-916-917-918-919-920-921-922-923-924-925-926-927-928-929-930-931-932-933-934-935-936-937-938-939-940-941-942-943-944-945-946-947-948-949-950-951-952-953-954-955-956-957-958-959-960-961-962-963-964-965-966-967-968-969-970-971-972-973-974-975-976-977-978-979-980-981-982-983-984-985-986-987-988-989-990-991-992-993-994-995-996-997-998-999-1000-1001-1002-1003-1004-1005-1006-1007-1008-1009-1010-1011-1012-1013-1014-1015-1016-1017-1018-1019-1020-1021-1022-1023-1024-1025-1026-1027-1028-1029-1030-1031-1032-1033-1034-1035-1036-1037-1038-1039-1040-1

يستمرص المؤلفون صورة للبلاد التونسية في خيالي 1.500.000 ريع التمثيل
طبيعا بجميع الصور المتاحة للعرض " لاندسات " في الألوان المرئية
بند دأب من الاستشعار من البعد لإدارة التربة حرارة الفلاحة بهذا المصطلح
بالتعاون مع سلطة الصبح الجيولوجيين الأمريكية في إطار اتفاق مشروع نقل التكنولوجيا
وتشمل الصورة المصححة نظريا طابا للبلاد التونسية من خلال تجميع 17 صورة
نحائية التقطت بين سنة 1977 و 1979 خلال أشهر يفرج ، مارس ، أبريل
وساى ، وبند مرتكى هاتى الصور في ألى الأسر مجموعة من المخططات التصحيحية
حتى يتسنى التمثيل على صورة دقيقة وفي نفس سبط الارتفاعات الجيومورفومترية
المصطلح بها من نفس الخيالي وهي في سبط " ماركاتور " بعد ذلك تم بطريقة
لوميترية التمثيل على الصورة النهائية في الألوان المرئية .
بعد هذا العرض السريع للخرطة الفنية الشرحاء للتحمل على الوثيقة
بين المؤلفين أهميتها العلمية ، وهي بمثابة صورة حينية للخراب التوضيحي
من ارتفاع 912 كم غربا ، ومبينة الى أبعد الحدود الى حافة وثاقبة ونفاصير
مخطبات الوط البحراني وطى جبل الشمال بحايل المؤلفين الجيودايس
بعضها من خلال تاليل تعم جوانب هيدة للوط الطبيعي والعيا للبلاد .
ونظرا لغزائنها فانهم لم يروا فائدة في مراضة الصورة بطناع جاسر
بل تركوا المجال وأبعا لكل التفسيرات الممكنة للقراء كل في حداه .

Télédétection, ou télésurveillance (remote sensing en anglais, استشعار بالمرصاد en arabe) veut dire étymologiquement l'observation des phénomènes à distance. Elle désigne actuellement tout un ensemble d'investigations visant à acquérir, traiter, et interpréter des données sous forme photographique ou numérique sur l'espace terrestre ou planétaire en se basant sur l'énergie électromagnétique visible ou invisible. Cette technique a connu un développement remarquable à partir des années 1970 avec le lancement des satellites de ressources terrestres de la Famille Landsat (appelée initialement ERTS). Les données enregistrées par ces satellites, complétant celles des photographies aériennes, se sont avérées très riches en informations sur les milieux naturels et aménagés. Elles sont exploitées de nos jours dans les études de cartographie et d'inventaire des ressources terrestres. En outre, par simple assemblage, elles permettent la réalisation de mosaïques à l'échelle voulue, superposables aux cartes topographiques.

La mosaïque d'images spatiales Landsat de la Tunisie à l'échelle 1/500.000 est un exemple parmi d'autres. Elle a été réalisée par le laboratoire de télédétection de la Direction des Soins en collaboration avec le Service Géologique américain dans le cadre du projet «science et technologie», entre le Ministère de l'Agriculture et la Mission Spéciale Américaine pour le Développement Economique et Technique.

Il s'agit d'une vue d'ensemble du territoire tunisien, aussi fidèle que possible à la réalité géographique du pays. Son élaboration à partir des données digitales Landsat a nécessité différentes opérations de traitement numérique.

1 - METHODOLOGIE D'ELABORATION DE LA MOSAIQUE

D'une façon générale, on désigne sous le nom de mosaïque, en photogrammétrie un document composé de fragments de photographies ou d'images, aériennes ou spatiales, juxtaposés et collés de façon à représenter l'ensemble du paysage. On distingue deux types de mosaïques : les mosaïques non contrôlées, dont les distorsions ne sont pas du tout corrigées; ce sont des assemblages construits par simples découpage et collage, généralement à partir de points repères (routes, champs cultivés etc...); les mosaïques contrôlées exigent des soins supplémentaires qui consistent à faire coïncider des points de référence des photos avec leurs correspondants sur carte topographique. La mosaïque contrôlée peut ainsi être utilisée comme une carte. Dans le cas des images Landsat, l'opération d'assemblage peut se faire manuellement, ou automatiquement par ordinateur. On parle dans ce cas de mosaïque automatique (ou numérique) par opposition à mosaïque manuelle dont la qualité est toujours moindre car il est difficile d'obtenir photographiquement des images à ton homogène. C'est une des raisons qui nous a fait opter dans le cas de la mosaïque de la Tunisie pour une mosaïque automatique contrôlée. La version fausses couleurs a été adoptée pour ses meilleures possibilités de discrimination des phénomènes.

La méthodologie de mise au point de la mosaïque a comporté cinq étapes :

1. 1 - Première étape

Elle a consisté à choisir dans les listings de la station italienne de réception des images spatiales à Fucino, les images Landsat de la Tunisie qui soient les plus nettes possibles (sans nuages, sans défaillance de vue ou de réception), et les plus homogènes sur le plan tonalité par l'acquisition d'images prises au cours de la même saison. Rappelons que le satellite américain Landsat, à orbite héliosynchrone (fig. 1) permet l'enregistrement de données, assurant du fait de l'altitude 912 km, une bonne vue synoptique à l'échelle régionale. Chaque scène couvre un territoire de 185 km de côté (soit 34225 km²). Le léger recouvrement (10 % pour la Tunisie) entre les images, l'uniformité de l'échelle, la précision géométrique, facilitent la mise au point de mosaïques régionales et territoriales. Par ailleurs, du fait du passage du satellite tous les 18 jours par la même orbite et à la

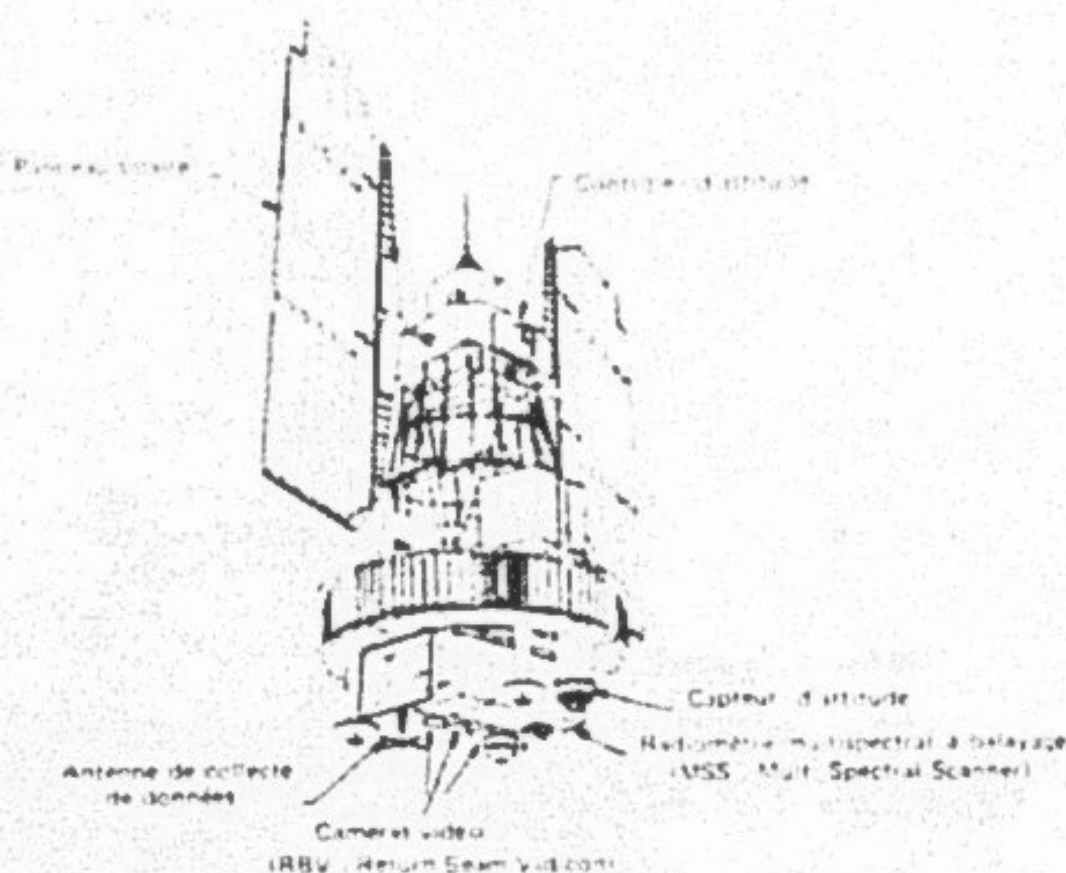
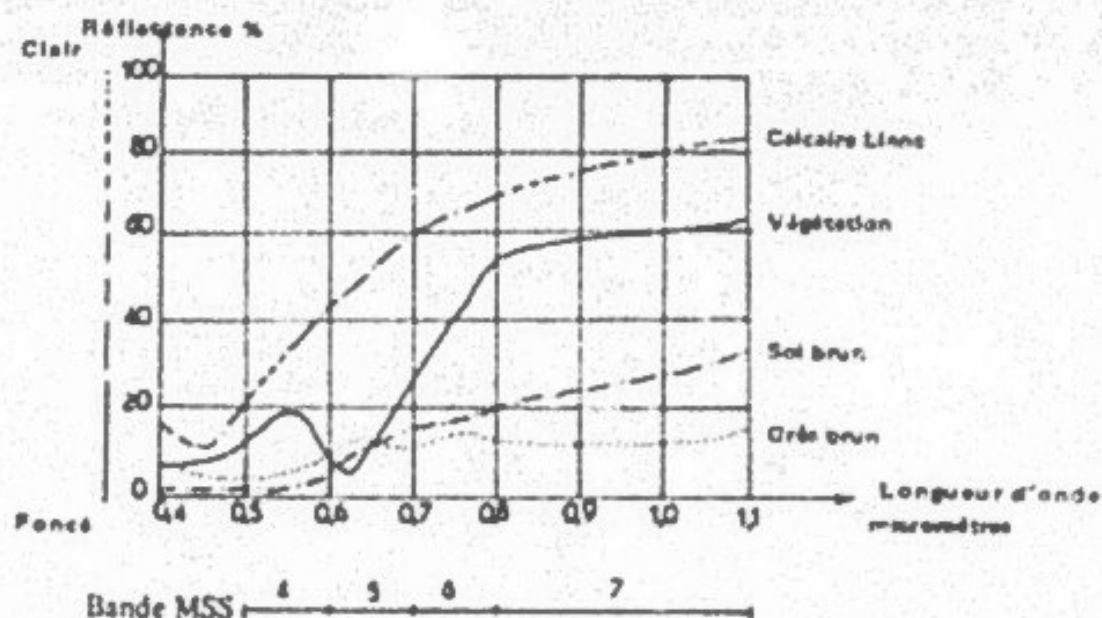


Fig. 1. Vue générale du satellite LANDSAT

même heure solaire locale, on est assuré d'une certaine répétitivité des mesures selon des conditions bien définies, aptes à faciliter des études diachroniques. Le satellite est équipé d'un système de détection MSS (Multispectral Scanner) comportant deux canaux dans le visible, et deux dans le proche infrarouge, appelés communément bande 4 (0,5 - 0,6 microns), bande 5 (0,6 - 0,7 microns), bande 6 (0,7 - 0,8 microns) et bande 7 (0,8 - 1,1 microns). Le système enregistre ainsi quatre images correspondant chacune à une partie du spectre électromagnétique. L'analyse de chaque image est utile en télédétection parce que chacune d'elle apporte quelques renseignements spécifiques sur certains éléments du milieu (fig. 2).



Couleur affectée dans une composition faussée : Bleu, vert, rouge

Fig. 2. COURBES SCHEMATIQUES DE REFLECTANCE POUR DIFFERENTS TYPES DE COUVERTURE DU SOL

Technique de composition colorée

Les données digitales des différentes bandes, acquises par le satellite, peuvent être converties en images en noir et blanc où les densités de gris varient d'une bande spectrale à l'autre proportionnellement aux niveaux de réflectance des objets.

Les images couleurs sont produites par la combinaison d'images individuelles en noir et blanc, en affectant à chaque image une couleur particulière. Le produit obtenu est une composition (ou composite) couleur où la couleur d'un objet est fonction de sa réflectance dans chacune des bandes utilisées et des couleurs affectées à chaque bande dans la combinaison. La composition effectuée pour la mosaïque, qui est aussi la composition standard, est la suivante :

Bande MSS	Région Spectrale	Couleur affectée
4 (0,5 - 0,6 microns)	Vert	Bleu
5 (0,6 - 0,7 microns)	Rouge	Vert
7 (0,8 - 1,1 microns)	proche infrarouge	Rouge

On constate qu'il n'y a pas de bande MSS dans la région spectrale du bleu, et que les couleurs affectées aux deux bandes 4 et 5 sont différentes des couleurs de leurs régions spectrales, autrement dit de leurs couleurs naturelles. La couleur rouge est assignée à la bande 7 qui est située en dehors de la partie visible du spectre électromagnétique. La composition ainsi produite, est une couleur non naturelle ou fausses couleurs. Elle est dans ce cas équivalente à une photographie infrarouge couleur (fig. 3).

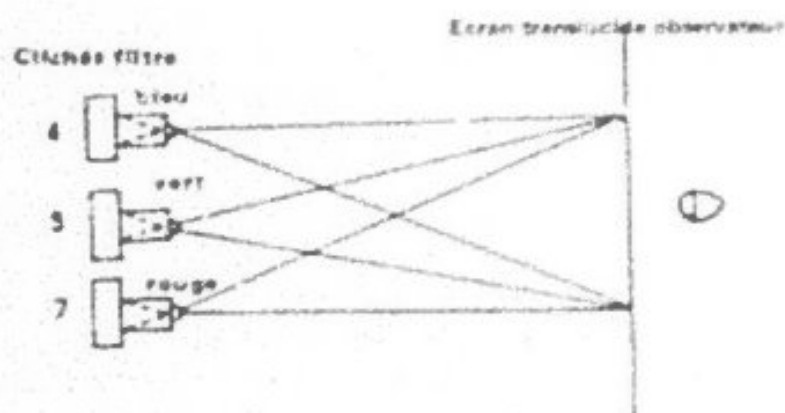


Fig. 3. PRINCIPES DE LA RECONSTITUTION D'UNE IMAGE FAUSSES COULEURS STANDARD

Signification des couleurs sur la mosaïque

Les couleurs par lesquelles apparaissent les objets sur la composition colorée varient en rapport avec les facteurs intrinsèques de la scène (illumination, couvert végétal, humidité de la surface du sol, conditions atmosphériques etc...), de même que les méthodes et les émulsions utilisées dans les traitements photographiques. On indique dans ce qui

suit les signatures couleurs des principales classes d'objets sur une composition fausses couleurs standard :

— La végétation :

la biomasse végétale photosynthétiquement active apparaît dans différentes nuances de rouge. La couleur est d'autant plus vive que la végétation est verte (riche en chlorophylle) et le taux de recouvrement élevé. La couleur rouge vient du fait que la végétation réfléchit beaucoup plus dans le proche infrarouge (bande 7) que dans le vert et encore moins dans le bleu. Il en résulte que c'est dans les nuances de la couleur affectée à la bande 7, qui est le rouge pour la combinaison de la mosaïque, que la végétation s'exprime sur la composition colorée.

— L'eau :

s'exprime dans des couleurs allant du cyan (eau peu profonde, on ayant une proportion élevée de sédiments en suspension) au bleu très foncé ou noir (eau profonde et claire).

— L'urbain :

les agglomérations apparaissent, le plus souvent, en bleu pâle. Les voies goudronnées - dont la détection, vu la faible résolution spatiale, s'est limitée à des traces localisées un peu partout - sont également traduites à peu près par la même couleur.

— Le sol :

les signatures couleurs de quelques types généraux de sols nus ou à faible taux de recouvrement sont indiquées dans le tableau ci-après, la présence de végétation importante se traduit par des teintes tirant sur le rouge. L'eau de surface, qui diminue la réflectance spectrale du sol, tend à donner à celui-ci une couleur bleu.

Type de sol	Teinte sur la mosaïque
Sable, croûte calcaire ou gypseuse, sol très salé sec	Blanc plus ou moins légèrement bleuâtre ou jaunâtre
Sol léger Sol lourd ou humide	Teinte jaunâtre, verdâtre bleu plus ou moins terne

Comme il a été signalé plus haut, l'opération avait commencé par l'acquisition d'images les plus nettes et les plus homogènes possibles. Le choix s'est porté sur 17 images couvrant tout le territoire du pays et enregistrées de 1977 à 1979 au cours des mois de Février, Mars, Avril et Mai. On a considéré que le couvert végétal, au maximum de son

développement au cours de cette période permettrait une meilleure différenciation régionale (voir tableau d'assemblage des prises vue des images Landsat, fig. 4).

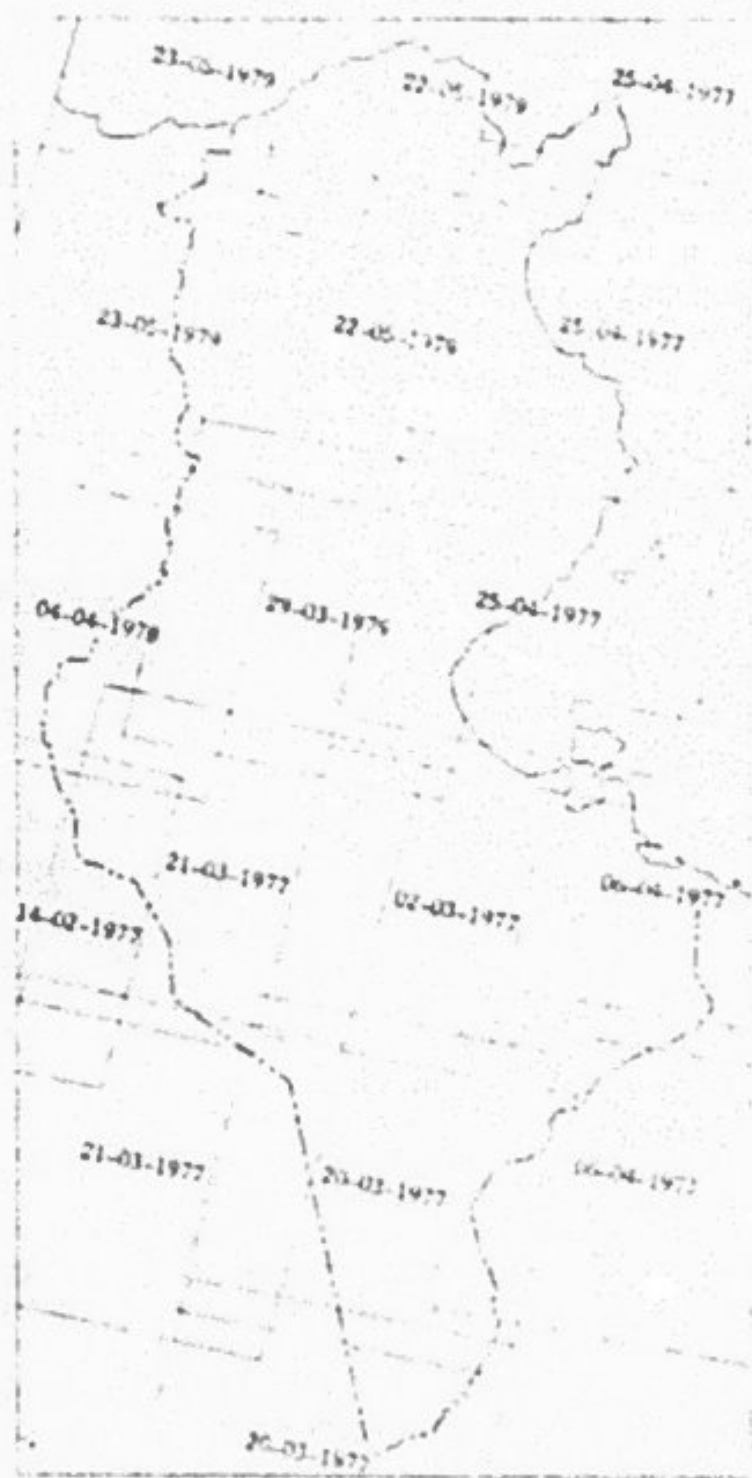


Fig. 4. DATES DE PRISES DE VUE DES IMAGES LANDSAT

I. 2 - Deuxième étape

Elle consiste à améliorer par une série d'opérations de prétraitement la qualité des images numériques. Celles-ci ont subi différents types de corrections automatiques :

- Corrections radiométriques :

elles consistent à remplacer les lignes de mauvais balayage, ou complètement ratées sur les images, par la réflectance moyenne de la ligne suivante et précédente.

- Correction atmosphérique :

À cause de la forte diffusion atmosphérique dans les petites longueurs d'onde, la bande 4 du système MSS est la plus affectée, et la bande 7 la plus épargnée. Cette énergie électromagnétique, diffusée et enregistrée par le capteur MSS, n'apporte aucune information supplémentaire sur la surface du sol; au contraire elle en diminue, par cet effet de «brume atmosphérique» apparaissant par une teinte bleutée sur les images en fausses couleurs standards.

- Correction de l'illumination solaire :

les images utilisées dans la réalisation d'une mosaïque, acquises dans différentes conditions d'illumination solaire, doivent subir un ajustement de la réflectance visant à obtenir un produit aussi harmonieux que possible. La correction se fait en multipliant toutes les valeurs de réflectance d'une image par une constante fonction de l'angle solaire. On obtient ainsi une meilleure homogénéité moyenne de ton qui traduirait plus fidèlement la nature du terrain.

- Correction géométrique :

lors du balayage de la scène par le satellite, sont introduites des distorsions systématiques (distorsions constantes liées au système de balayage), et des distorsions non-systématiques (distorsions variables dues à la rotation de la terre, et aux variations de la vitesse, de la position, et de l'altitude du satellite). Celles-ci sont corrigées à partir des données de la rotation du satellite ou de points de référence terrestres.

I. 3 - Troisième étape

Elle consiste à réaliser une mosaïque sous forme numérique pour chacune des bandes 4, 5 et 7.

Les 17 images numériques déjà corrigées et améliorées sont numériquement enregistrées les unes par rapport aux autres à l'aide de points de référence terrestres dans les zones de recouvrement, puis ajustées pour qu'elles correspondent à la projection cartographique voulue. Il s'agit pour la mosaïque de la Tunisie, de la projection transversale Universelle de Mercator (Sphéroïde Internationale): On applique ensuite un allongement

optimum de contraste à tous les éléments de résolutions (pixels) de la même bande, afin de produire une apparence uniforme à travers toute la mosaïque (le résultat fut en général satisfaisant excepté quelques légères discontinuités).

1.4 - Quatrième étape

Cette étape a consisté à préparer les indications toponymiques sur film, qui devaient être ajoutées à la mosaïque dans l'étape suivante. La toponymie a été simplifiée au maximum pour ne pas trop masquer une partie de l'information. Toutefois, le lecteur pourra faire appel aux cartes topographiques à la même échelle. Aussi, les frontières ont été reproduites conformément aux cartes topographiques au 1/500.000 et au 1/1.000.000 publiées par l'Office de la topographie et de la cartographie - TUNIS -

1.5 - Cinquième étape

Cette étape finale consiste à visualiser la mosaïque.

Les trois mosaïques des bandes 4, 5 et 7, sous forme numérique, préparées au cours de la 3ème étape, sont visualisées sur films en noir et blanc à l'aide d'un générateur d'images. Les trois films ainsi produits, et celui de la toponymie préparé dans l'étape précédente, au 1/500.000, sont combinés en utilisant les techniques d'imprimerie, pour obtenir la mosaïque en fausses couleurs dans sa forme finale.

Notons d'autre part, qu'à l'aide des techniques de composition colorée, les trois films sus-indiqués peuvent être combinés en une mosaïque fausses couleurs sur film (ou papier photographique), et que cette dernière peut être obtenue directement à partir des données numériques des bandes 4, 5 et 7 en utilisant le générateur d'images.

Par ailleurs, faudrait-il évoquer d'autres traitements essayés afin de mieux préciser l'information des mosaïques. Il s'agit de deux essais :

- Un mélange 50 % de données corrigées, plus 50 % filtre haute fréquence* destiné à mettre en relief la texture fine et les bords, a été essayé, mais deux problèmes sont apparus : en zone côtière, une contamination des pixels sur terre produit une auréole artificielle parallèle à la côte, spécialement là où les eaux sont peu profondes (Sahel de Sfax, Golfe de Gabès). Ailleurs, la végétation est grossièrement exagérée.
- Disposer d'une mosaïque à partir des images RVB* - MSS fusionnées, qui du fait de la résolution spatiale des données RBV (40 mètres) aura une meilleure définition géométrique. Il s'est avéré que la fusion des données RBV - MSS était au stade de la recherche et très coûteuse. Elle n'a été jusqu'alors pratiquée que pour une partie de scène MSS (San Francisco, Marseille, le Caire), mais jamais pour une mosaïque entière.

* Voir glossaire

Gabès), qui baignent à leur tour de larges plaines. D'une façon générale, le relief de la Tunisie est faible et ouvert. Mise à part une légère massivité apparente de la chaîne septentrionale (Kroumirie, Mogod), la mosaïque ne montre que de modestes chaînes séparées par de larges vallées ou de vastes dépressions. La Dorsale, prenant le pays en écharpe, et comportant les sommets les plus élevés du pays, est plusieurs fois coupée par de véritables couloirs facilitant le passage d'une région à l'autre.

C'est le cas de la chaîne nord-sud et de la chaîne est-ouest de Gafsa.

Il est facile de comprendre en regardant la mosaïque que l'espace accueillant, aéré, facile à traverser, a doté la Tunisie d'une position stratégique qui a fait de son territoire une terre de passage à plusieurs civilisations étrangères venues d'est et d'ouest, depuis les Carthaginois jusqu'aux Français.

- La réalité de la notion géographique du «Magreb» : la mosaïque de la Tunisie montre clairement, mieux que n'importe quel autre document, que la notion du Magreb est réelle et concrète. En effet, les unités orographiques du pays se prolongent vers l'ouest, en Algérie, sans aucune discontinuité de couleurs. Le Tell algérien et l'Atlas saharien se trouvent dans le prolongement normal de la chaîne Kroumirie, Mogod et de la Dorsale tunisienne. Le Grand Erg Oriental s'étend de façon identique de part et d'autre de la frontière algéro-tunisienne qui ne correspond à aucune donnée naturelle contraire. Il est de même vers l'est où la plaine de la Jaffara, le Jbel et le Dahar se prolongent à travers la frontière en tripolitaine.
- L'aridité progressive vers le sud et le rôle bioclimatique et régional capital de la Dorsale : par une teinte de plus en plus claire, où dominent les couleurs blanches et jaunes, la mosaïque rend compte d'une façon concrète de l'aridification progressive du territoire vers le sud. Le front d'aridité peut être matérialisé par une ligne de direction sud-ouest - nord-est parallèlement aux grandes chaînes de montagnes, qui exagèrent la progression de ce front.
- La mosaïque confirme que le territoire tunisien subit une double influence, celle du Sahara par le sud et celle de la mer par le nord, et secondairement par l'est, car la majorité des vents pluvieux soufflent par le nord-ouest. Le front de contact comme celui de l'aridité, d'orientation sud-ouest - nord-est, varie dans l'espace et dans le temps en rapport avec les saisons et l'efficacité des vents pluvieux. A ce titre, la Dorsale apparaît jouer un rôle capital comme obstacle à la progression des masses d'air humides vers le sud. Elle apparaît à travers la mosaïque comme un facteur d'aridité. Ceci n'a rien d'étonnant puisqu'elle correspond à l'isohyète 450 mm et sépare deux régions géographiques distinctes : le Tell vers le nord, et les Steppes et le Sahara vers le sud.

II. 2 - Le découpage régional

Par la vision synoptique du territoire tunisien, la mosaïque constitue un document idéal pour le découpage régional du pays. Afin de tester l'approche et de pouvoir comparer les résultats avec des travaux antérieurs (H.N. Le Houerou, 1959 - ARZOTU, 1976),

on a tenté de réaliser une interprétation manuelle qui a consisté à délimiter sur un calque les régions présentant une certaine homogénéité de tons et de couleurs. Les résultats préliminaires (fig. 5) confirment en grande partie le découpage régional déjà établi tout en apportant certaines retouches locales. Les régions et sous-régions distinguées sont les suivantes :

II. 2.1 - La Tunisie tellienne : délimitée au sud par la Dorsale et comprend les sous-régions suivantes :

A - LA TUNISIE SEPTENTRIONALE

- a₁ - Khroumirie et Mogod : région montagneuse du nord-ouest, constituée de grès et d'argile; pays pluvieux, offrant des conditions favorables à la poussée des forêts de chêne liège, chêne vert, pin maritime (zone rouge sombre à noir sur la mosaïque). Toutefois, la forêt est trouée de larges clairières exploitées par les paysans qui y cultivent de l'orge, du blé, du sorgho et du tabac (zones rouges). L'irrégularité du paysage agricole s'explique par le relief et par le morcellement de la propriété. Les épandages sableux d'orientation nord-ouest - sud-est de la région de Nezza en particulier provenant de l'érosion marine sur les caps gréseux, se distinguent facilement dans le paysage par leur teinte blanchâtre.
- a₂ - Hidhal, Béjaoua : légèrement plus au sud, elle se distingue de la région Khroumirie - Mogod par l'importance des cultures traitées par la prédominance de la teinte rouge. Les forêts naturelles ont été en grande partie défrichées, et ne subsistent que sur certains sommets sous forme de garrigues et de maquis.
- a₃ - La Vallée de la Medjerda : elle se présente sous forme d'un couloir est-ouest qui s'élargit vers l'est après un goulot dans la région de Testour. La couleur bleuâtre verdâtre dominante traduit soit des sols nus, soit des céréales mûres, prêtes à être moissonnées. Les parcelles rouges sont celles des cultures de printemps et d'été irriguées.
- a₄ - Le Tell oriental ou maritime : groupe plusieurs sous-régions faciles à délimiter sur l'image. La plus simple étant le Cap-Bon qui prolonge la Dorsale après la plaine hydromorphe de Grombalia, mais aussi le Sahel de Bizerte, le Mateurais, la Basse vallée de la Medjerda et la région de Tunis.
- a₅ - Le Haut tell : c'est la partie la plus vaste et la plus élevée du Tell. Il est constitué par une série de chaînons montagneux, séparés par de larges dépressions dont certaines d'entre elles sont cultivées en céréales : plaine du Sers, Rohia. Les teintes noires traduisent les forêts de conifères des sommets des Djebels Ouargha, Kebbouch et Maiza à titre d'exemple.
- a₆ - La Dorsale : se définit par ses chapelets de montagnes de teinte noireâtre (forêts de pin d'Alep) qui divergent vers le sud-ouest à partir du fossé de Shiba Rohia. Malgré une massivité apparente vers le nord-est, la Dorsale reste une chaîne aérée traversée par plusieurs couloirs.

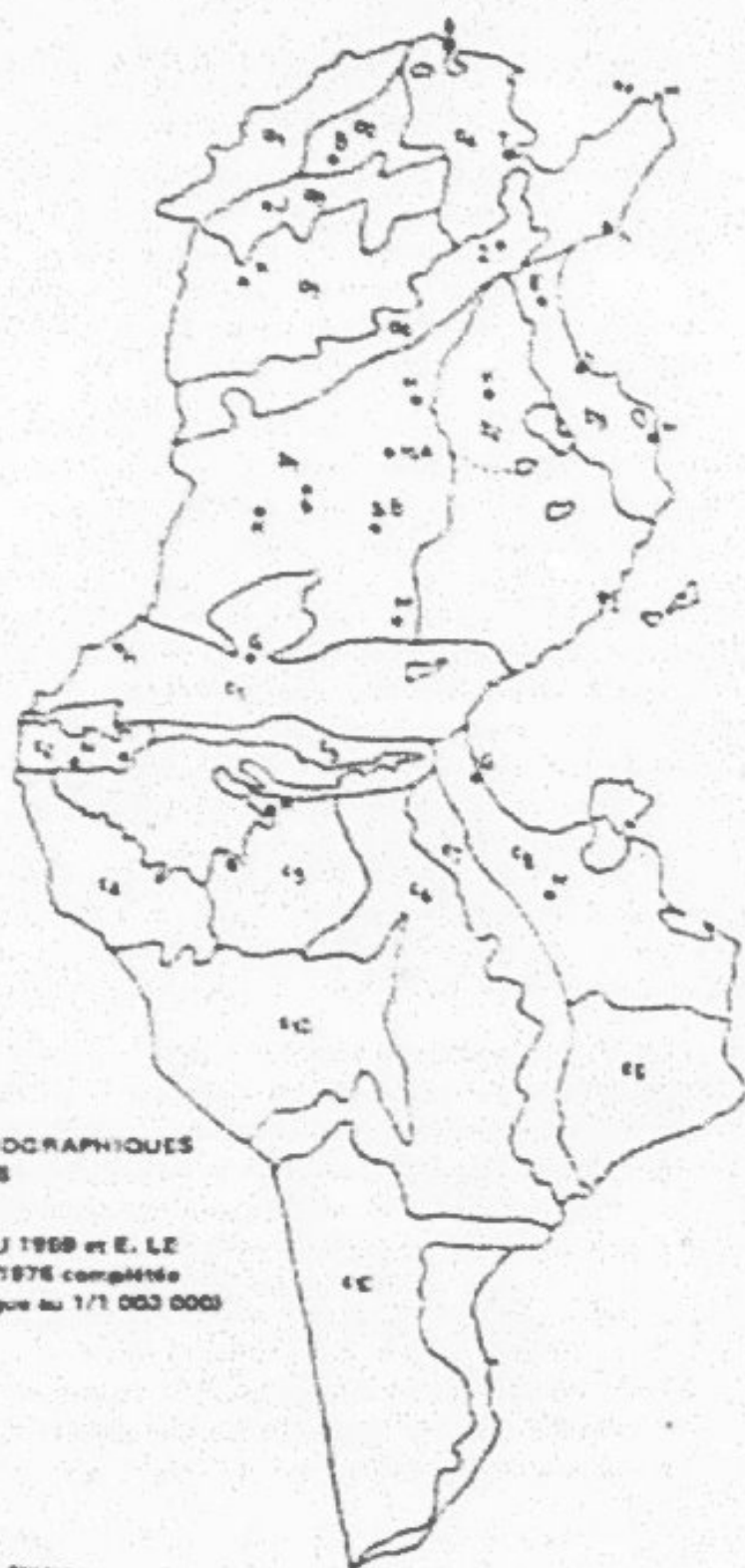


Fig. 5. CARTE DES REGIONS GEOGRAPHIQUES
TUNISIENNES

D'après H. N. LE HOUEROU 1969 et E. LE
FLOCH, R. PONTANIER, 1976 complétée
par les données de la mosaïque au 1/1 000 000
Légende : voir texte.

0 50 100 km

B - LA TUNISIE CENTRALE

Elle est limitée au nord par la Dorsale et au sud par la chaîne de Gafsa, et constituée de plusieurs régions :

- b₁ - Les Hautes Steppes : c'est le secteur occidental, pays des anticlinaux pincés et des larges synclinaux taillés en glacis encroûtés et couverts d'alfa (teinte grise sur l'image). Il nous semble pouvoir délimiter une Haute Steppe occidentale où prédomine les glacis encroûtés, et une autre orientale connue par l'importante extension des sols sableux. L'emprise des cultures (teinte rouge) traduit cette différence.
- b₂ - Les Basses Steppes : se trouvent à l'est des Hautes Steppes au delà de la chaîne nord-sud. Là aussi il est facile de distinguer les basses plaines septentrionales kairouanaïses où les processus d'alluvionnement occupent de vastes superficies, et les basses steppes méridionales afaxiennes légèrement plus sèches.
- b₃ - Le Sahel : c'est le secteur littoral des Basses Steppes dont il se distingue par un gris légèrement plus foncé, traduisant des sols légèrement plus lourds et une olivéole plus dense. C'est la même couleur qui se prolonge pratiquement jusqu'aux confins de la Dorsale vers le nord. Comme dans les Basses Steppes, les sebkhas occupent de larges étendues. Plus leurs eaux sont profondes, plus ils apparaissent en bleu foncé. Les ceintures blanchâtres traduisent les efflorescences salines, parfois des épandages sableux.

C - LA TUNISIE MERIDIONALE

Elle se trouve au sud de la chaîne de Gafsa et comprend les sous-régions suivantes :

- c₁ - Les basses plaines méridionales : bordées au nord par les Basses et les Hautes Steppes, et au sud par la chaîne nord des Chotts (Djebels El-Asker, Sidi Bou Hlal, Tafema, Hadifa). Dans toute cette région comprenant aussi le secteur d'Oum El-Araïch, Redeyef, la céréaliculture est concentrée dans les talwegs et les bas des glacis, bénéficiant d'apports d'eau de ruissellement (système ségui). La céréaliculture s'effectue également dans les garaas (lacs temporaires d'eau d'oued) au titre de culture de décrue. Les glacis et les montagnes, ainsi que les zones plates sont réservés au pâturage.
- c₂ - Le Jerid : se présente sous la forme d'un dôme couvert d'un voile de sable grossier favorable aux écoulements latéraux expliquant le développement des oasis (Tozeur, Nefta, Dégache).
- c₃ - Le Ffej : correspond à la région se trouvant de part et d'autre du Chott Ffej. C'est une région aride, marquée par l'extension des sols à croûte gypseuse et des

épandages éoliens. Les zones de culture se limitent à quelques parcelles au niveau des rares sources.

- c₄ - Le Grib : c'est la région située au sud-ouest du Chott Jerid. Il s'agit d'un ancien sebkha ensablé par les apports éoliens en provenance de l'Erg.
- c₅ - Le Nefzaoua : il est limité par l'Erg au sud, et par les chotts au nord. Il a même origine que le secteur du Grib, mais s'en distingue par d'importants chapelets d'oasis à la limite du Chott Jerid.
- c₆ - La région de Dahars : il s'agit du revers des cuervas des Matmatas, présentant l'aspect de reg, et taillé par des oueds marqués en général par un cordon de dunes à végétation relativement dense.
- c₇ - Les Matmatas et le Jbel : constituent une série de cuervas successives en fonction de l'alternance lithologique calcaire marne de la série jurassique et crétacé. L'ancienneté de leur évolution apparaît à travers la finesse du détail de leur tracé. Elles dominent la région orientale de 100 à 600 m d'altitude.
- c₈ - La Jeffara et l'Arad sont une immense plaine de remblaiement quaternaire d'où émergent quelques collines permienues ou triasiques. Les larges lits d'oueds dont la plupart sont fossiles sont réduits souvent à des chapelets de sebkhas (matérialisés sur la mosaïque par des traînées noirâtres). Certains d'entre eux sont encombrés de dunes.
- c₉ - L'Ouara : plaine alluviale développée en glacis à partir de la cuesta. Les croûtes gypseuses ou calcaires sont souvent fossilisées par un voile éolien de sable grossier ou de dunes, d'où la teinte blanchâtre dominante sur la mosaïque la distinguant de la Jeffara.
- c₁₀ - L'Erg : il s'agit de l'extrémité nord orientale du grand erg oriental. Il est constitué de dunes alignées en cordons d'orientation généralement méridienne. Le contact entre l'Erg et les régions environnantes est brutal, ce qui fait que sa cartographie à partir de la mosaïque est très précise. Les différentes teintes qui restent à étudier pourraient traduire des matériaux différents ou même une stabilité variable.

Ainsi grâce à la vue d'ensemble qu'elle permet, la mosaïque constitue un document idéal pour les études de régionalisation et d'aménagement régional d'une façon générale. Par ailleurs, grâce à l'enregistrement des données dans différentes parties du visible et dans le proche infrarouge, elle apporte des informations plus riches pour les études thématiques : géologie, pédologie, géomorphologie, hydrologie etc...

III - LES APPORTS DE LA MOSAÏQUE A LA CONNAISSANCE DES ELEMENTS DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ESPACE TUNISIEN.

Bien qu'étant un document synthétique, la mosaïque offre la possibilité d'en tirer, avec précision, des renseignements thématiques concernant le milieu naturel et aménagement de la Tunisie. On tente dans ce qui suit de tirer quelques informations élémentaires réparties par discipline.

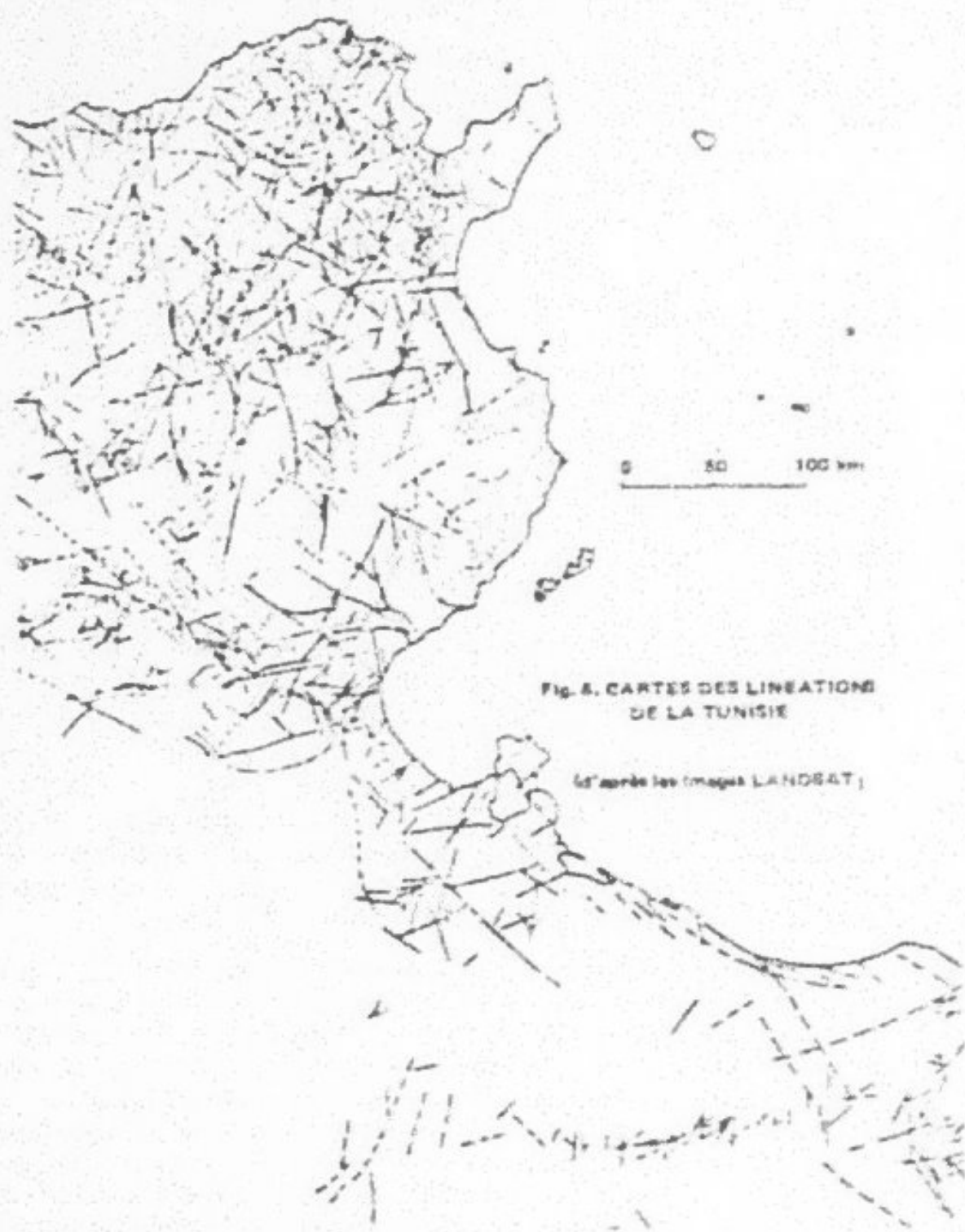
III. 1 - Topographie

Les caractéristiques uniques du capteur MSS et de sa plateforme (faible champ de vue, haute altitude), font que les images Landsat corrigées et contrôlées sont pratiquement orthogonales et fiables, et donc très convenables pour la cartographie planimétrique à petite échelle. De ce fait, la mosaïque de la Tunisie, dans la projection U.T.M., constitue une photocopie de précision satisfaisante, et pourrait être utilisée pour mettre à jour l'information planimétrique des cartes topographiques de même projection de la Tunisie. Ainsi, son apport paraît primordial dans la délimitation des sebkhas. Le contour de plusieurs sebkhas mérite, à la lumière de la mosaïque, d'être revu : c'est le cas de Sebkhet El-Kalbha, Chrita et Melah (à l'est de Médénine). Certaines d'entre elles, totalement oubliées sur la carte topographique au 1.1000.000, méritent d'être représentées : c'est le cas d'un chapelet de sebkas au nord du Jbel Melloussa, d'autres au nord-est de la ville de Sidi-Bou-Zid au pied du Jbel Bou Ramli, de Sebkhet El-Korria au nord-ouest du Pont du Fahs et au nord de la plaine de Grombalia. Aussi, des larges secteurs du Chott Jerid devraient ressortir en dunes et soustraits de l'étendue du chott en dépit des fluctuations saisonnières.

Par ailleurs, à la lumière des données de la mosaïque, les limites de l'Erg oriental pourraient être mieux précisées, l'orientation des cordons dunaires mieux frisolée : c'est le cas du secteur de Zemiet El-Borma, de Rejme Maatoug, et de Erg Inzien.

III. 2 - Géologie

La géologie est la discipline qui a le plus profité des images Landsat dont les caractéristiques (illumination oblique uniforme, suppression des détails distrayants, vue synoptique, précision géométrique) se sont révélées bien appropriées à certaines applications géologiques. Ainsi, l'image Landsat a tendance à faire apparaître les macrostructures de l'écorce terrestre aux dépens des formes d'occupation humaine des sols. L'apport essentiel réside dans ce que les géologues appellent « linéations » ou « linéaments » pour désigner



des traits apparaissant sur les images, rectilignes ou légèrement courbés, quelle que soit leur longueur. Ces linéations correspondent soit à des fractures, soit à des traces de couches, ou des limites de formation. La cartographie des linéations du territoire tunisien a donné la carte suivante (fig. 6). Seules les lignes correspondant à des failles et des chevauchements, réels ou supposés, ont été gardées. Toutes les autres linéations relatives à l'infrastructure, au réseau hydrographique et à l'occupation du sol ont été négligées. Les résultats représenteraient donc aussi bien les failles et chevauchements déjà connus que ceux nouvellement dégagés. Plusieurs géologues se sont intéressés à étudier cette question dans différentes régions du pays, particulièrement dans la chaîne nord des chotts, la zone des Diapirs, le Cap-Bon et l'Atlas Tunisien centro-méridional. La télanalyse photogéologique leur a permis de mieux affiner leurs connaissances géologiques, particulièrement en ce qui concerne la fracturation et le style tectonique. L'étude de l'Atlas tunisien centro-méridional a mis en évidence de nouveaux accidents nouvellement détectés tels que l'accident de Tozeur, l'accident est-ouest de Kasserine, ou de raccorder différentes portions de failles déjà observées et cartographiées dans la littérature : accidents du Jbel Mrhla et de Sidi Ali Ben Oun, et l'accident sud atlasique (fig 7).

Tout cela n'exclut pas l'exploitation éventuelle de la mosaïque dans la cartographie des types d'affleurements ou de formations superficielles, ou dans les programmes de recherche minière.

III. 3 - Hydrogéologie, hydrologie

L'étude de la structure géologique à travers la mosaïque contribue à une meilleure connaissance du contexte hydrogéologique. Les réseaux de fracture constituent autant des zones d'infiltration favorables à la mise en place des nappes, particulièrement lorsqu'elles affectent des roches à fort capacité de magasinage.

En hydrologie, faute de cartes topographiques récentes, la mosaïque peut contribuer à mettre à jour le tracé du réseau hydrographique. Flacé dans des conditions climatiques irrégulières, l'hydrographie tunisienne est changeante. L'écrêtement des oueds, les captures, les surcreusements et les atterrissements sont les principales manifestations de cette variabilité. La mosaïque représente l'état de l'hydrographie tunisienne à un moment donné. Beaucoup de changements qui ont affecté les unités hydrographiques à la suite des dernières crues n'apparaissent pas sur le fond topographique de la Tunisie au 1/1.000.000 et 1/500.000. La physiographie de plusieurs sebkhas a changé tels que Sebkhet El-Kelbia, Sebkhet Enfida, Chott Jerid. D'autres se sont développées et méritent d'être représentées sur la carte au 1/1.000.000. C'est le cas de Sebkhet El-Kourzla au nord-ouest du Pont du Fahs et d'un chapelet de sebkhas au nord et au sud du Jbel El-Kebbar. De même, les cartes hydrographiques publiées récemment par le Ministère de l'Agriculture méritent d'être révisées à la lumière de la mosaïque. On peut citer à titre d'exemple la confluence de l'Oued Si Ali Jaballah avec l'Oued Negada (région de Sbeitla), le cours inférieur de l'Oued Hajel (près de Hajeb El Aloun), le bas Zéroud dans la région de Kalmoun, le cours de l'Oued Sidi Alch au nord de Gafsa etc... La mosaïque apporte,

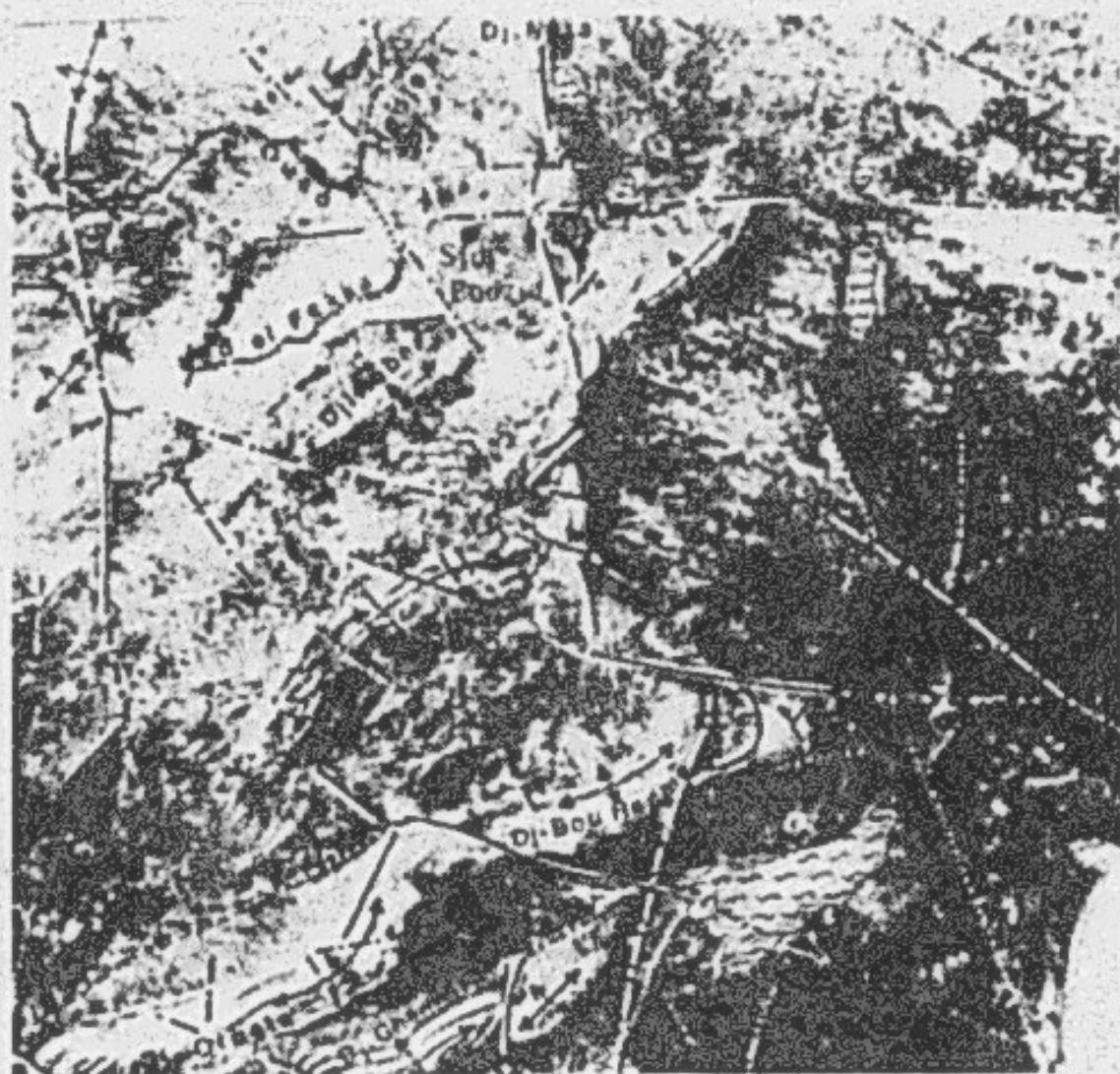


Fig. 7. CARTE DES LINEATIONS DE LA TUNISIE CENTRALE

(réalisée à partir d'une image LANDSAT du 7 Février 1973, bande 5)

Légende:

- Lineament correspondant à une faille connue
- - - Lineament correspondant à une faille inconnue
- - - Autres lineaments
- Sebkhass
- Oueds
- ✕ Axes anticlinaux

par ailleurs, des précisions supplémentaires concernant la largeur des lits des oueds aux données figurant sur les cartes hydrographiques et topographiques publiées.

Cette remarque intéresse la majorité des oueds des Hautes et des Basses Steppes. Le cas le plus net est celui de l'Oued Zéroud à la sortie du col du Jebel Charahane. Il fait 500 m de largeur de lit sur la carte topographique au 1/1.000.000, 1 km sur la carte hydrographique au 1/500.000, alors qu'en réalité il en a 2 km d'après la mosaïque. Un autre cas est celui de l'Oued Merguellil au niveau du gué de la route G.P.3 dont la largeur d'après la mosaïque fait 500 m alors que la carte topographique au 1/1.000.000 et la carte hydrographique au 1/500.000 ne lui donnent que quelques mètres (trait discontinu). Ainsi la mosaïque pourrait contribuer à la mise à jour des cartes topographiques et constituerait un document fondamental dans la cartographie de l'hydrographie du territoire tunisien.

III. 4 - Géomorphologie, Pédologie.

Malgré la faible résolution et le masquage par la couverture végétale, il est possible de tirer indirectement de la mosaïque des informations concernant les formes et formations superficielles ainsi que leur altération pédologique.

La plus ou moins grande confusion des paysages sur la mosaïque traduit avec fidélité l'agencement et la plus ou moins grande complexité des régions géomorphologiques. La région de Khroumirie Mogod - Hdil est la plus complexe. Soumise à un climat pluvieux sur des roches gréseuses et marneuses, elle connaît une dynamique dominée comme dans le passé par les ravinements et les solifluxions. L'attaque de la côte nord par la houle et le vent est responsable de l'érosion des caps et de l'accumulation sur les plages. Les dunes de Nefta, du Cap Serrat, et de Ras Ben Sakka faisant opposition avec leurs environs se distinguent clairement sur la mosaïque. Il en est de même des dunes du Cap Bon et de la combe du Jebel Sidi Abderrahmane.

Le Haut Tell montre, d'après la mosaïque, un paysage plus ouvert dominé par les reliefs inversés (val perché du Jebel Garaa, Ouarghadyr du Kef) et dérivés (Monts des Jebels Massouge, Kebbouche, Maiza). Les cuvettes synclinales alluviales ou marneuses sont vivement ravinées par les nombreux oueds et leurs affluents.

Au Sahel, la mosaïque montre comme une chevelure l'ancien ravinement historique sous la forêt d'olivier traditionnelle, particulièrement dans les régions de Hammam Sousse, Kalaa Kebira et El-Jem. Plus à l'ouest les secteurs d'accumulations alluviales des Oueds Zéroud et Merguellil ressortent avec une netteté incomparable. L'étude des dépressions fermées sur la mosaïque paraît intéressante vu le degré de détail enregistré particulièrement aux niveaux des différentes auréoles de colorations différentes indiquant les dunes, les sols salés, et les eaux de plus en plus profondes (bleu plus sombre).

L'influence de la table saharienne se traduit dans les Hautes Steppes par le style éjectif des plissements. Les anticlinaux pincés correspondant pour la plupart à des monts ou à des crêts (Jbel Chamba, Jbel Abeld, Jbel Seïdum) ou parfois à des combes avec

par ailleurs, des précisions supplémentaires concernant la largeur des lits des oueds aux données figurant sur les cartes hydrographiques et topographiques publiées.

Cette remarque intéresse la majorité des oueds des Hautes et des Basses Steppes. Le cas le plus net est celui de l'Oued Zéroud à la sortie du col du Jebel Charahine. Il fait 500 m de largeur de lit sur la carte topographique au 1/1.000.000, 1 km sur la carte hydrographique au 1/500.000, alors qu'en réalité il en a 2 km d'après la mosaïque. Un autre cas est celui de l'Oued Merguellil au niveau du gué de la route G.P.3 dont la largeur d'après la mosaïque fait 500 m alors que la carte topographique au 1/1.000.000 et la carte hydrographique au 1/500.000 ne lui donnent que quelques mètres (trait discontinu). Ainsi la mosaïque pourrait contribuer à la mise à jour des cartes topographiques et constituerait un document fondamental dans la cartographie de l'hydrographie du territoire tunisien.

III. 4 - Géomorphologie, Pédologie.

Malgré la faible résolution et le masquage par la couverture végétale, il est possible de tirer indirectement de la mosaïque des informations concernant les formes et formations superficielles ainsi que leur altération pédologique.

La plus ou moins grande confusion des paysages sur la mosaïque traduit avec fidélité l'agencement et la plus ou moins grande complexité des régions géomorphologiques. La région de Khroumirie Mogod - Hail est la plus complexe. Soumise à un climat pluvieux sur des roches gréseuses et marneuses, elle connaît une dynamique dominée comme dans le passé par les ravinements et les solifluxions. L'attaque de la côte nord par la houle et le vent est responsable de l'érosion des caps et de l'accumulation sur les plages. Les dunes de Nefza, du Cap Serrat, et de Raas Ben Sakka faisant opposition avec leurs environs se distinguent clairement sur la mosaïque. Il en est de même des dunes du Cap - Bon et de la combe du Jebel Sidi Abderrahmane.

Le Haut Tell montre, d'après la mosaïque, un paysage plus ouvert dominé par les reliefs inversés (val perché du Jebel Garaa, Ouarghadyr du Kef) et dérivés (Monts des Jebels Massouge, Kebbouche, Maiza). Les cuvettes syndinales alluviales ou marneuses sont vivement ravinées par les nombreux oueds et leurs affluents.

Au Sahel, la mosaïque montre comme une chevelure l'ancien ravinement historique sous la forêt d'olivier traditionnelle, particulièrement dans les régions de Hamam Sousse, Kalaas Kebira et El-Jem. Plus à l'ouest les secteurs d'accumulations alluviales des Oueds Zéroud et Merguellil ressortent avec une netteté incomparable. L'étude des dépressions fermées sur la mosaïque paraît intéressante vu le degré de détail enregistré particulièrement aux niveaux des différentes auréoles de colorations différentes indiquant les dunes, les sols salés, et les eaux de plus en plus profondes (bleu plus sombre).

L'influence de la table saharienne se traduit dans les Hautes Steppes par le style éjectif des plissements. Les anticlinaux pincés correspondant pour la plupart à des monts ou à des crêtes (Jbel Chambi, Jbel Abeid, Jbel Seïloum) ou parfois à des combes avec

mont dérivé (Jbel Oust, Jbel Mrhilla) ou à des vaux perchés (Jbel Barbrou, Jbel Bou Dabbous). Quant aux synclinaux, ils sont très vastes en majorité sableux vers l'est, et encroûtés vers l'ouest, mais dans tous les cas taillés en glacis dont on arrive à détecter l'agencement dans les pieux des Jbels Mrhilla, Douleb et Tloucha. Les glacis les plus élevés, couverts souvent d'alfa, sont plus sombres que ceux des glacis et terrasses plus récents.

En Tunisie méridionale, le domaine des chotts montre la même richesse des nuances traduisant un milieu complexe où les dunes, les croûtes gypseuses, les sols hydromorphes et les nappes d'eau se relaient dans le paysage. Plus au sud la mosaïque nous montre avec une netteté et une précision remarquables la partie tunisienne du Grand Erg Oriental constituée de longs cordons dunaires sensiblement alignés nord-sud et séparés par des Gassi (fond rocheux) ou des Feidj (fond sableux). Leurs interférences donnent naissance à d'importants Ghourda ou dunes pyramidales très développées dans la région au nord de Zemlet El Borma et Rhourde Bou Rhezala. Vers l'est un vrai rempart dunaire sépare l'Erg du revers de la cuesta des Matmatas où les deux dynamiques éolienne et hydrique sont en jeu. La plupart des oueds sont marqués par un cordon dunaire mobile d'orientation est-ouest ou sud-ouest, nord-est, soit la même direction de certains cordons dunaires dans l'Ouara ou le Chott Fejej en rapport avec les vents du sud-ouest dominants dans ces régions. Plus à l'est, il est possible de cartographier en détail à partir de la mosaïque la cuesta des Matmatas ou Jbel, dédoublé au niveau de Remada. Le front de cuesta domine à son tour vers l'est la dépression orthoclinale de la Jeffara largement ouverte sur les influences maritimes du Golfe de Gabès.

Pédologie - En comparant avec d'autres thèmes, la mosaïque contient peu d'informations pédologiques pour les raisons suivantes :

- C'est la surface du sol (composition chimique et état physique), responsable des phénomènes d'interaction avec l'énergie électromagnétique, qui détermine la réflectance du sol et donc la possibilité de la reconnaissance de celui-ci par télédétection. Malheureusement, il y a beaucoup de facteurs qui modifient ou masquent le comportement spectral de l'horizon de surface tels que l'humidité, les pratiques culturales, la végétation, la topographie etc...

- La classification d'un sol ne dépend pas uniquement de l'horizon de surface, mais aussi des autres horizons en profondeur qui ne contribuent pratiquement pas à la réponse spectrale du sol.

Il est de ce fait très difficile de différencier les différents types de sols en se basant sur les teintes dans lesquelles il apparaissent sur les images en noir et blanc ou en couleur. Le problème est plus complexe pour la mosaïque de la Tunisie vue qu'elle est formée d'images acquises à des dates différentes. On pourrait cependant noter que :

- les sols hydromorphes, et halomorphes humides apparaissent dans une teinte bleue plus ou moins claire;

- les sols halomorphes secs se distinguent par leur couleur blanche due à l'efflorescence saline;
- les sols sableux et les accumulations de sable secs sont facilement reconnaissables par leurs teintes blanchâtres, parfois légèrement jaunâtre. Si le sol est humide en surface, cette teinte devient légèrement bleuâtre.
- les sols à croûte ou encroûtement gypseux ou calcaire totalement érodés et sans voile éolien, sont traduits par une couleur blanche.

Les autres types de sols (sols calcimagnésiques, sols isohumiques, et sols d'apports), qui constituent l'essentiel des sols de la Tunisie en particulier dans le nord et le centre, sont, lorsqu'ils ne sont pas masqués par la végétation, difficilement discriminables les uns des autres du fait de leurs textures superficielles similaires. Le Sahel de Souase se dégage nettement en raison d'un couvert végétal plus dense et probablement aussi grâce à une texture moins légère.

III. 4 - Occupation des sols

La mosaïque dans sa version fausses couleurs pourrait être exploitée dans les études d'occupation des terres.

D'une façon générale, plus une formation végétale est riche en chlorophylle, plus elle apparaît dans une teinte rouge sur la mosaïque. Ainsi, les forêts de feuillus de la Khroumirie et des Mogod apparaissent dans une teinte rouge sombre; les forêts de pin d'Alep et de chêne vert des monts de la Dorsale où prédominent les résineux ressortent en gris. L'exemple type est constitué par le boisement en résineux de la forêt de Rimel à l'est de Bizerte, mais aussi du Jbel Mrhilla, Semmarzet Selloum dans les Hautes Steppes. Là, l'alfa non dégradé, assurant un bon recouvrement du sol, se distingue par une couleur grise claire.

Les oasis et les périmètres irrigués de la Tunisie méridionale, faisant opposition avec leur environnement, se dégagent nettement (Jérid, Néfzaoua, Golfe de Gabès etc...). Dans le centre et le nord, les cultures irriguées (Oued Fekka, Sbiba, moyenne vallée de la Medjerda etc...) et les céréales blé et orge (plusieurs secteurs des Mogod et Khroumirie Hdhill, Béjaoua, Mateurois, plaine de Grimbaila, Haute Vallée de l'Oued Sarrat, fossé de Silliana et du Sers, fossé du Krib Gaafour, plaine de Maknassy et Sidi Bou Zid et les seguis) sont également faciles à détecter, quoique plus difficilement discriminables.

Quant à l'arboriculture, étant donné sa faible densité et la variété des sols, il s'est avéré difficile de lui retrouver une signature exclusive à l'échelle de tout le territoire. Ce qui correspondrait à l'oliveraie par exemple, contient toujours la signature du sol sous-jacent qui est d'autant plus importante que le couvert végétal est faible. C'est pour cette raison que l'oliveraie sfaxienne, sahelienne ou kairouanaise ressortent différemment en rapport avec la nature du sol, les systèmes de culture et le nombre d'arbres à l'ha. La plus facile à détecter est la vieille oliveraie sahelienne qui ressort dans une teinte grise

caractéristique similaire à celle de l'alfa. L'oliveraie sfaxienne est plus difficile à dégager vu le faible taux de recouvrement.

Quant à l'agrumiculture (terroirs de Menzel Bou Zelfa, Beni Khalled etc...), elle apparaît dans une teinte rouge foncé rappelant les forêts de feuillus.

Ainsi donc, la cartographie de l'occupation du sol à partir de la mosaïque est possible jusqu'à un certain degré de précision. D'autre part, il est probable que le choix des images Landsat (Février, Mai) ait favorisé la détection de certaines cultures (céréales) aux dépens d'autres (cultures irriguées etc...)

En guise de conclusion, la mosaïque de la Tunisie est un document synthétique. Il représente l'espace tunisien tel qu'il est vu par le système MSS de Landsat à partir de 912 km d'altitude au cours d'une période allant de Février à Mai. Elle vient à côté des cartes thématiques compléter notre connaissance des milieux géographiques du pays. A ce titre, la mosaïque pourrait être exploitée dans les études d'aménagement du territoire en vue de dégager les grandes caractéristiques de l'espace tunisien ou d'établir un meilleur découpage régional. En outre, elle semble être riche en informations relatives à des paramètres des milieux naturels et aménagés : structure géologique, forme de relief, sol, végétation etc... En un mot, la mosaïque de la Tunisie est venue renforcer, à côté des photographies aériennes et des cartes diverses, nos moyens d'étude et d'appréhension de l'espace tunisien.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

J. BEN YACOB - A. HAMZA et T. LEJMI (1979)

Les apports des images Landsat à la cartographie géologique de la Tunisie centrale. Deuxième Séminaire National sur la Télédétection des Ressources Terrestres, Tunis 21/31 Mai 1979, 7 p.

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU (1983)

Carte hydrographique de la Tunisie au 1:500,000, trois coupures.

M.J. GROlier et P.S. COLLINS (1979)

The environment of south central Tunisia as observed on Landsat scene 206/036. Preliminary report, 40 p. - U.S.G.S.

M.J. GROlier et P.S. COLLINS (1979)

The environment of Landsat scene 205/037 with emphasis on the north eastern margin of the Grand Erg Oriental, southwestern Tunisia.

A. HAMZA (1980)

La Télédétection, principes, méthodes et applications, le cas de la Tunisie. Rapport de stage aux U.S.A., 4ème trimestre, 1978, 118 p., Division des Sols.

A. HAMZA - A. MAMI et F. SADOWSKI (1982)

Land use mapping from Landsat imagery applied to central Tunisia. Actes du premier Séminaire sur la Télédétection dans les Régions Arides et semi-arides, Le Caire 19-25 Janvier 1982, p. 1099 - 1111.

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL (?)

La Télédétection - 64 p.

JEUNE AFRIQUE (1979)

L'Atlas Jeune Afrique de la Tunisie - 72 p.

A. KASSAB et H. SETHOM (1980)

Géographie de la Tunisie, le pays et les hommes. Faculté des lettres, série géographie, vol. XII, 278 p.

ED. LE FLOCH et R. FONTANIER (1976)

Problèmes posés par l'interprétation thématique des images et des données numériques Landsat du Sud de la Tunisie. Expérience ARZOTU, 42 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

J. BEN YACOUB - A. HAMZA et T. LEJMI (1979)

Les apports des images Landsat à la cartographie géologique de la Tunisie centrale. Deuxième Séminaire National sur la Télédétection des Ressources Terrestres, Tunis 21/31 Mai 1979, 7 p.

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU (1983)

Carte hydrographique de la Tunisie au 1:500.000, trois coupures.

M.J. GROLIER et P.S. COLLINS (1979)

The environment of south central Tunisia as observed on Landsat scene 206/036. Preliminary report, 40 p. - U.S.G.S.

M.J. GROLIER et P.S. COLLINS (1979)

The environment of Landsat scene 205/037 with emphasis on the north eastern margin of the Grand Erg Oriental, southwestern Tunisia.

A. HAMZA (1980)

La Télédétection, principes, méthodes et applications, le cas de la Tunisie. Rapport de stage aux U.S.A., 4ème trimestre, 1978, 118 p., Division des Sols.

A. HAMZA - A. MAMI et F. SADOWSKI (1982)

Land use mapping from Landsat imagery applied to central Tunisia. Actes du premier Séminaire sur la Télédétection dans les Régions Arides et semi-arides, Le Caire 19-25 Janvier 1982, p. 1099 - 1111.

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL (?)

La Télédétection - 64 p.

JEUNE AFRIQUE (1979)

L'atlas Jeune Afrique de la Tunisie - 72 p.

A. KASSAB et H. SETHOM (1980)

Géographie de la Tunisie, le pays et les hommes. Faculté des lettres, série géographie, vol XII, 278 p.

ED. LE FLOCH et R. FONTANIER (1976)

Problèmes posés par l'interprétation thématique des images et des données numériques Landsat du Sud de la Tunisie. Expérience ARZOTU, 42 p.

O.T.C. (?)

Carte topographique de la Tunisie au 1/1.000.000 et au 1/500.000.

R.D. RUDD (1974)

Remote sensing, a better view. Duxbury press, 135 p.

JR. SABINS - F.F. (1978)

Remote sensing, principles and interpretation. Freeman and company, San Francisco, 426 p.

A. SOUSSI (1974)

La télédétection des ressources terrestres. Rapport de stage aux U.S.A., ES-90, Direction des Sols.

J. TRICART et al (1970)

Introduction à l'utilisation des photographies aériennes - SEDES, 247 p.

U.S.G.S. (1978)

Characteristics of the Landsat multispectral data system. Open file report 78-187 76 p.

U.S.G.S. (1978)

Principles of computer processing of Landsat data for geologic applications - Open file report 78-117, 50 p.

GLOSSAIRE

Allongement de contraste.

Une technique de traitement numérique qui permet d'améliorer le contraste. Elle consiste à allonger la marge originale (ou l'histogramme) des valeurs numériques de telle sorte que tout le pouvoir de contraste du matériel photographique (film ou papier) soit utilisé.

Bande spectrale.

Partie du spectre électromagnétique.

Composite (ou composition) colorée.

Image polychrome formée par la combinaison de deux ou plusieurs images en noir et blanc (où les valeurs de réflectance sont exprimées en niveaux de gris) en affectant à chacune d'elle une couleur donnée (bleu, vert, rouge etc...).

Distorsion géométrique.

Tout changement de la position ou de la forme d'un objet sur image.

Emulsion.

Couche d'un matériel photographique (film, papier etc...) sur laquelle est formée l'image. Elle est constituée, entre autres, de produits sensibles aux radiations en suspension dans la gélatine.

Filtre haute fréquence.

Technique de traitement numérique qui permet de rehausser les hautes fréquences spatiales (texture fine) de l'image et de supprimer les autres. Lorsque l'image ainsi filtrée est combinée avec l'originale, on obtient une image où la texture fine - dégradée lors de l'enregistrement par le satellite - se trouve améliorée, tout en gardant telles qu'elles sont les bases et les moyennes fréquences.

Filtre optique.

Corps transparent coloré qui transmet la radiation reçue dont la fréquence est comprise dans certaines bandes et s'oppose à son passage dans le cas contraire.

Pixel.

Abréviation anglaise de «Picture element» (élément image). Dans une image digitale c'est l'aire au sol représentée par chaque valeur numérique de réflectance. Le pixel peut être plus petit que la résolution au sol (champ de vue instantané) du système détecteur.

R B V.

Return beam vidicon. Système de détection peu utilisé de Landsat. Les images sont formées sur une surface photosensible d'un tube cathodique, et balayées avec un faisceau électronique.

Résolution spatiale.

L'aptitude à distinguer des objets étroitement espacés sur une image. Dans une image Landsat, elle est égale au champ de vue instantané au sol, soit 79x79 mètres.

Scène.

L'aire au sol couverte par une image. Elle est égale pour une image Landsat à 185 x 185 Km.

Texture.

Fréquence de changement des tons de groupes d'objets qui sont trop petits pour être cartographiés individuellement. Une texture peut être fine, moyenne, grossière et tachetée ou pointillée.

FIN

33

VUES